

Grenzsteinsuchen mit iRadar

Schnelle Verfahren zum Verorten von Grenzsteinen gibt es viele – solche zum Finden nicht koordinierter Grenzsteine eher wenige. Das traditionelle Verfahren „Versuch und Irrtum“ – also Abstecken und Graben, ist seit jeher die Methode zum Auffinden verborgener Grenzsteine. Mit den Forschungs- und Entwicklungsprojekten „Digitales 3D-Untergrundmodell mit GPR und GPS für die Darstellung von verborgenen Grenzsteinen und Untervermarkungen“ sowie „Konstruktion eines nicht destruktiven 3D-Untergrundmesssystems mit präziser Lagebestimmung durch GPS“ wurden die Grundlagen für ein mögliches Verfahren zum Aufspüren kleinvolumiger Objekte mittels Bodenradar (GPR) gelegt.

Einleitung

Motivation

Das Auffinden und Vermessen kleinvolumiger Objekte im nahen Untergrund ist eine häufige Aufgabe, nicht nur in der Katastervermessung, sondern auch in anderen Gebieten, wie z. B. der Archäologie oder bei der Räumung von Kampfmitteln. Während jedoch dort angewandte Messverfahren und Methoden in der Regel noch auf eine gewisse Großräumigkeit der Strukturen bzw. besondere Materialien oder Objektstrukturen abzielen, könnte man durchaus sagen, dass die Suche nach Gesteinen im Boden mit teilweise unregelmäßiger Struktur (also Grenzsteinen) den „worst case“ darstellt.

Traditionell wird, sobald eine hinreichend genaue Vorberechnung der vermuteten Position eines Grenzsteines nicht gelingt, häufig ein immenser Aufwand betrieben, das im nahen Untergrund befindliche Objekt zu finden und anschließend in originalgetreuer Lage aufzunehmen. Der damit verbundene Zeitaufwand beim Suchen und Freilegen der Objekte sowie

auch das Risiko einer unbeabsichtigten, irreversiblen Lageänderung oder Zerstörung könnte entscheidend verringert werden, wenn es gelänge, für dieses Anwendungsfeld ein geeignetes 3D-Untergrundmodell und -messsystem zu entwickeln. Für einen effizienten und wirtschaftlichen Einsatz sind dabei eine zuverlässige und präzise Lageerkennung sowie ein zügiger Arbeitsablauf im Felde von wesentlicher Bedeutung.

Allgemeine Projektzielstellungen

Ziel war es, ein Modell samt Messprozess zu entwickeln und daran anschließend ein Messsystem zu realisieren, welches die o. g. Anforderungen erfüllen kann. Dafür wurde Ende 2007, in Kooperation mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) und gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), das Projekt „Digitales 3D-Untergrundmodell mit GPR und GPS für die Darstellung von verborgenen Grenzsteinen und Untervermarkungen“ begonnen. Darauf aufbauend und mit

zeitlichem Versatz parallel dazu wurde in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ein weiteres Projekt zur technischen Realisierung durchgeführt.

Am Anfang der Projekte stand die Wahl der Technologien, mit welchen diese zerstörungsfreie Untersuchung des nahen Untergrundes geschehen soll. Für die Verortung wurde hierbei zunächst auf die bereits häufig eingesetzten, flexiblen und für den Katasterbereich hinreichend präzisen GPS-basierenden Messsysteme gesetzt. Für die Untersuchung des Bodens fiel die Wahl auf die Technologie Bodenradar (engl. ground penetration radar / GPR), welche auch schon für andere, ähnliche Zwecke (z. B. die Minensuche) erfolgreich eingesetzt wird. Durch die Kombination der Systeme GPR und GPS sollten für den Hauptanwendungsbereich vorhandene, marktgängige Geräte genutzt werden können. Dies bezieht sich in aller Regel auf das Vorhandensein von GPS-basierenden Messsystemen. Die Auswertung der Daten, die Visualisierung und die Kommunikation der Komponenten sollte ein zu entwickelndes Zusatzgerät mit entsprechender Software leisten.

Im Laufe der Realisierung einer ersten Konstruktion wurde neben GPS auch vermehrt mit Tachymetern gearbeitet. Zum einen, um Tests unter kontrollierten Bedingungen in Messhallen durchführen zu können, zum anderen um GPS-Beschränkungen, wie etwa Abschattung, in bestimmten Situationen eliminieren zu können.

Ziel dieses Beitrages

Zur Messanordnung und zum Messprinzip wird ein kurzer Einblick gegeben. Ausschnittsweise wird in diesem Zusammen-

hang auch das Vier-Phasen Testmodell zur Generierung von aussagekräftigen Referenzmessungen, das von Frau Katrin Niemeyer in ihrer Diplomarbeit „Ansätze zur nicht destruktiven Erfassung von Grenzmarkierungen im nahen Untergrund aus Bodenradardaten“ bearbeitet wurde, beschrieben. Abschließend werden eine kurze Zusammenfassung über den aktuellen Stand und die praktische Verwendbarkeit der bisherigen Ergebnisse sowie ein Ausblick auf die Perspektiven des Projektes gegeben.

Mit Bodenradar auf Grenzsteinsuche Messanordnung

Das Projekt „Digitales 3D-Untergrundmodell mit GPR und GPS für die Darstellung von verborgenen Grenzsteinen und Untervermarkungen“ legte die theoretischen Grundlagen für ein Verfahren zum Aufspüren kleinvolumiger Objekte mittels Bodenradar bei gleichzeitiger Verortung durch GPS. Die Visualisierung wird dabei automatisiert in einem digitalen 3D-Untergrundmodell realisiert. Für Anwender wäre das Verfahren, etwa bei der gezielten Suche nach Grenzsteinen und Untervermarkungen, wirtschaftlicher als die herkömmliche Vorgehensweise, welche in der Regel umfangreiche manuelle Arbeiten erfordert. Das Verfahren zielte, wie bereits erwähnt, auf eine Umsetzung mittels Standardkomponenten für Bodenradar und GPS sowie zusätzlichem Datenlogger ab. Im Verlaufe der Entwicklung wurde zur Positionsbestimmung ebenfalls die Verwendung von Tachymetern ermöglicht, welche vor allem dann zum Einsatz kommen, wenn die erforderliche Genauigkeit mit GPS-basierenden Messsystemen, z. B. durch

äußere Einflüsse wie Abschattung, nicht zu gewährleisten ist. Die Möglichkeit der Tachymeter, Positionen als Pseudo-NMEA-Strings auszugeben, war dabei sehr hilfreich. Das System ist modular und leicht mit bestehender Hardware zu kombinieren, wie die beispielhafte Messanordnung (Abb. 1) zeigt.

Von der Messung zum Modell

Die zu verarbeitenden Daten im Messverfahren kann man in drei Quellengruppen zusammenfassen:

- reine BodenradarDaten
- Positionierungsdaten
- und Vorwissen.

Das abstrakte Vorwissen in Form von Fundortbeschreibungen kann grundsätzlich aus den verschiedensten Quellen stammen. Für das Auffinden von Grenzsteinen stellen unter anderem Risse, Karten und Pläne geeignetes Vorwissen dar. Die Integration dieser Daten kann den Suchradius bereits im Vorfeld erheblich einschränken und helfen, den wahrscheinlichsten Standort zu finden. GPS und Neigungssensoren sorgen für die korrekte Positionierung im Raum und bei der Entzerrung der BodenradarDaten. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung der Qualität der Daten noch bevor die eigentliche Auswertung im Felde und Abstrahierung der Messdaten zu einem Modell ansteht.

Schritt für Schritt zum Ziel

Der für dieses Projekt betrachtete Bereich des Bodens ist der nahe Untergrund bis zu einer Tiefe von ca. 1,5 m auf einer Fläche von mehreren m². Im Land Brandenburg findet man in diesen Tiefen regelmäßig ein klassisches A-B Bodenhorizontprofil vor. Die obere Humusschicht mit Grasdecke (A) ist meist ein bis zwei Dezimeter mächtig, folgend von einem mineralischen Oberboden (zwei bis fünf Dezimetern) und einem mineralischen Unterboden (beide B).

Das Bodenradar basiert auf elektromagnetischen Wellen, welche polarisiert sind. Über die Laufzeit des reflektierten Signals können Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Bodens gewonnen werden. Die

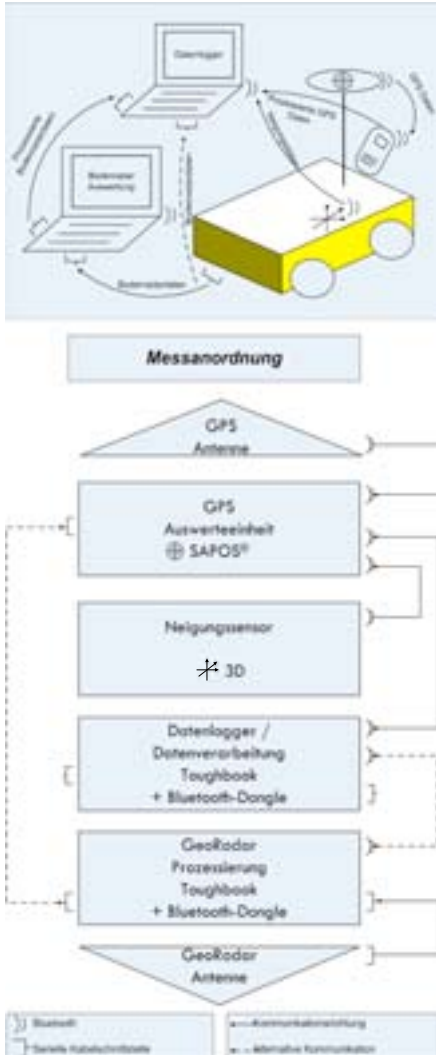


Abb. 1: Messanordnung iRadar

Laufzeit und die Geschwindigkeit hängen maßgeblich von der Leitfähigkeit des Bodens ab. Je größer der Unterschied der Geschwindigkeit des Signals beim Übergang in das nächste Medium, umso stärker das reflektierte Signal. Durchdringungstiefe und Auflösungsvermögen hängen von der gewählten Frequenz der Antenne des Bodenradarmesssystems ab. Grenzsteine und Untervermarkungen im Untergrund unterscheiden sich vom umgebenden Boden durch ihre Leitfähigkeit. Auch Störungen des Bodens durch das Eingraben können so noch lange „sichtbar“ sein.

Die Leitfähigkeit von Vermarkung und umgebendem Boden unterscheiden sich nur gering voneinander. Das Signal der Vermarkung ist daher nur schwer zu erkennen. Umwelteinflüsse, wie etwa eine starke Bodenfeuchtigkeit, können die Erkennung stören oder sogar gänzlich verhindern.

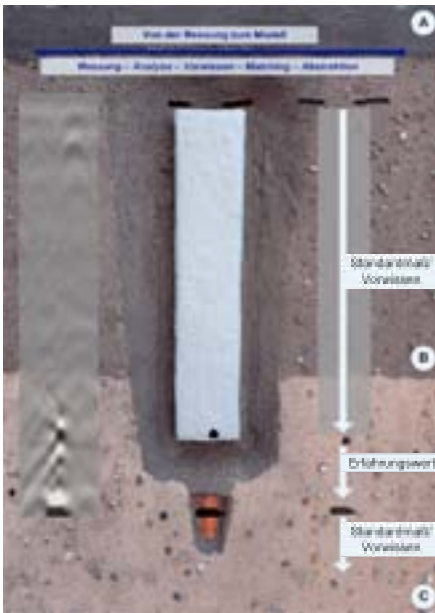


Abb. 2: iRadar – Von der Messung zum Modell

Die häufig noch eingesetzte herkömmliche Entzerrung der Georadardaten anhand von Laufradmessungen ist im Gelände sehr fehleranfällig. Die Erzeugung eines abstrakten digitalen 3D-Untergrundmodells aus den Messdaten ist daher auf eine präzise Positionierung der Messapparatur und Vorwissen angewiesen, um von den Messdaten über das Radargramm sowie letztlich der Bildverarbeitung und Interpretation zu der Aussage zu kommen: „Hier müssen wir suchen, oder nicht!“

Grenzen des Verfahrens

Grundsätzlich stellen die physikalischen Grenzen des Verfahrens Bodenradar, z. B. hinsichtlich der Limitationen ab einer entsprechenden Bodenfeuchte, ein großes Hindernis dar, wenn es um den möglichst universellen und effektiven Einsatz des Messsystems geht. Ab einer bestimmten Bodenfeuchte ist keine auswertbare Messung mehr möglich. Auch sehr heterogene, mit vielen kleinteiligen Objekten durchsetzte Böden in der unmittelbaren Nachbarschaft der Untersuchung können den sinnvollen Einsatz eines solchen Messsystems stark einschränken. Dazu kommen noch die regelmäßig stark veräuschten Radarmessbilder, welche eine automatisierte Auswertung ebenfalls stark beeinträchtigen können.

Trotz dieser Einschränkungen hat die bisherige Entwicklung ergeben, dass

- unter definierten Bedingungen mit einer entsprechenden Frequenz von etwa 1,6 GHz eine Erkennung von Grenzsteinen grundsätzlich möglich ist und
- physikalische, technische oder prozessbedingte Limitationen sich durch entsprechend veränderte Messanordnung und Zusatzsensoren aufheben bzw. wesentlich abmildern lassen.

Ein Beispiel für die Verbesserung der Erkennungsrate nach dem Prozessieren ist das hier exemplarisch vorgestellte Vier-Phasen Testmodell zur Erzeugung von strukturierten Datensätzen zur Optimierung der automatisierten Auswertung der Bodenradarbilder. Ein weiteres Verfahren zur Optimierung vor dem Prozessieren wird im Ausblick kurz dargestellt.

Das Vier-Phasen Testmodell

Ob die gesuchten Grenzsteine in einem Radargramm erkennbar werden, hängt von zahlreichen Faktoren, wie ihrer Geometrie, dem Auflösungsvermögen des Radargerätes und der Wahl einer geeigneten Antennenfrequenz ab. Um derartige Objekte von ihren umgebenden Materialien unterscheiden zu können, müssen sie sich deutlich in ihren dielektrischen Eigenschaften voneinander unterscheiden.

Der Boden und vor allem der Oberboden weisen meist eine enorme räumliche Heterogenität der elektromagnetischen Parameter auf. So wird die relative Dielektrizität und damit die Laufzeit der elek-

tromagnetischen Wellen maßgeblich durch den vorhandenen Wassergehalt im Boden bestimmt. Es ergeben sich Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit und im Dämpfungsvermögen. Gelöste Salze und bindige Bodenbestandteile vermindern die elektrische Leitfähigkeit und somit die Detektionsreichweite. Diese Umstände haben einen enormen Einfluss auf die Ergebnisse der Radarmessungen und somit konnten keine voreiligen Schlussfolgerungen auf die Erkennbarkeit der Objekte im Vorfeld der Untersuchungen gezogen werden. Vielmehr müssen nach theoretischen Überlegungen Testmessungen im Gelände erfolgen.

Die Überlegung besteht darin, ein Modell für die Wellenausbreitung in heterogenem Untergrund im Vorfeld einer Messung aufzustellen, in welches sämtliche Vorinformationen einfließen, um damit zu einer verlässlichen Aussage über den Erfolg oder Misserfolg einer Anwendung des GPR zu kommen. Auf diese Weise könnte es möglich sein, eine Inversion der geophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes zu erzeugen.

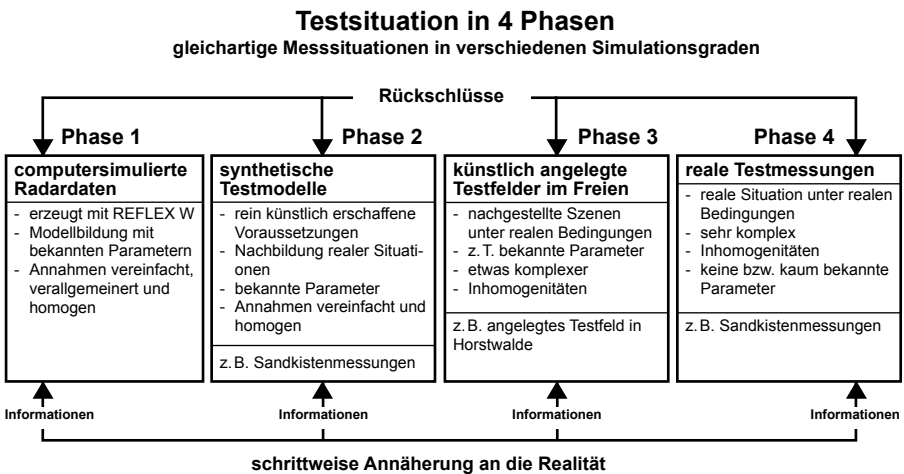


Abb. 3: Schaubild Testsituation in vier Phasen

Um letztendlich die Messergebnisse bezüglich realer Bedingungen auswerten und interpretieren zu können, ergibt sich für dieses Projekt folgender Ablauf in vier Schritten.

Computersimulierte Radardaten

Die Simulation ist eine Methode zur Analyse von Systemen, welche für die theoretische oder formelmäßige Behandlung zu kompliziert sind; das reale System ist entweder unverstanden oder sehr komplex. Deshalb müssen die Ergebnisse von wissenschaftlichen Auswertungen per Simulation interpretierbar gemacht werden. Eine Simulation beruht auf konkreten Werten, also einer bestimmten Parametrisierung zur Beschreibung des Systems. Sie besteht im ersten Schritt aus einer Modellfindung.

Mit dem von der BAM verwendeten Programm REFLEX W sind derartige Simulationen möglich. Es müssen lediglich die Parameter des Modells entweder hinsichtlich der Ist-Situation oder einer gewünschten Zielsituation eingestellt und gegebenenfalls geeignet variiert werden. So können gewisse vereinfachte Annahmen, wie homogene Medien ohne Fremdkörper oder Störungen an den Übergängen von Materialien angenommen werden, um optimale Messbilder erzeugen zu können. Das Modell bzw. die Simulationsergebnisse können dann für Rückschlüsse auf die Messergebnisse bezüglich realer Bedingungen genutzt werden.

Szenarien für die Simulation von Radardaten

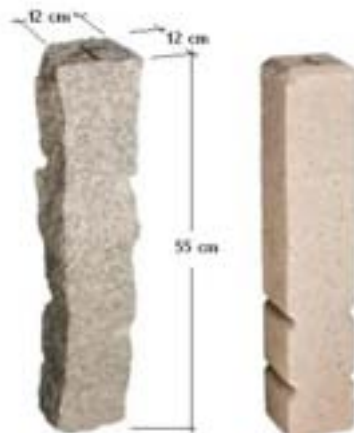
Um die Simulation von Radarmessungen durchführen zu können, müssen im Vorfeld bestimmte Parameter festgelegt

werden, die in der Tabelle 1 in Form von 11 Szenarien zusammengestellt sind und im Anschluss kurz erläutert werden.

Vermarkung und Material

In den ländlichen Gebieten Brandenburgs gibt es auch heute noch viele „unberührte“ Grenzsituationen, etwa aus der Zeit der preußischen Separation oder der Bodenreform, welche aus den verschiedensten Gründen (z. B. unvollständige Unterlagen wegen Brandkataster oder ungenaue/falsche Maßzahlen) nur schwer nachzuvollziehen sind. Viele der älteren Grenzsteine, die zumeist aus Granit oder in neuerer Zeit auch häufiger aus Beton bestehen, sind heutzutage überwachsen oder überschüttet und dadurch in der ohnehin oftmals an Orientierungspunkten armen Örtlichkeit nur sehr schwer aufzufinden.

Heutzutage werden neben den genannten Grenzsteinmaterialien auch regelmäßig Abmarkungen aus Kunststoff eingesetzt, welche hier jedoch nicht weiter von Bedeutung sind, da sie in der Regel neu koordiniert sind.



**Abb. 4: Granitgrenzstein, links
Betongrenzstein, rechts**

Szene	Vermarkung Material	relat. DZ ϵ_r Material	Lage (Neigung) [°]	Tiefenlage OK (cm)	Wassergehalt Boden [wt %]	relat. DZ ϵ_r Boden	Antennen-Frequenz (GHz)	Standort / Probennummer
1	Granit	6,5	0	5	3,88	3,5 / 5,4	1,5	Bodengrube / P007a
2	Granit	6,5	10	5	3,88	3,5 / 5,4	1,5	Bodengrube / P007a
3	Granit	6,5	0	25	3,88	3,5 / 5,4	1,5	Bodengrube / P007a
4	Beton	5,5	0	5	3,88	3,5 / 5,4	1,5	Bodengrube / P007a
5	Beton	11	0	5	3,88	3,5 / 5,4	1,5	Bodengrube / P007a
6	Granit	6,5	0	5	5,63	4 / 7	1,5	Parabellöhne / P012
7	Granit	6,5	10	5	5,63	4 / 7	1,5	Parabellöhne / P012
8	Granit	6,5	0	25	5,63	4 / 7	1,5	Parabellöhne / P012
9	Beton	5,5	0	5	5,63	4 / 7	1,5	Parabellöhne / P012
10	Beton	11	0	5	5,63	4 / 7	1,5	Parabellöhne / P012
11	Granit Flasche	6,5	0	5		3,5 / 5,4	1,5	Bredow

Tabelle 1: Zusammenstellung der ersten 11 Szenarien für eine Simulation von Radardaten

In der Tabelle 1 werden deshalb zunächst nur zwei Materialien für die Vermarkung betrachtet: Grenzsteine aus Granit und aus Beton, jeweils mit Abmaßen von ca. 12 cm Breite, 12 cm Länge und 55 cm Höhe. Neben diesen geometrischen Faktoren haben besonders die stoffspezifischen elektrischen Eigenschaften von Boden und Vermarkung einen großen Einfluss auf die Messung.

Relative Dielektrizitätszahl der Vermarkung

Bei den Szenarien 1 bis 3 (Tabelle 1), 6 bis 8 und 11 wurde das Vermarkungsmaterial Granit nicht nach trockenem und feuchtem Zustand unterschieden. Da die relative Dielektrizitätszahl (DZ) für trockenen Granit 5–6 und für feuchten Granit 7–8 beträgt und somit die Spannweite sehr gering ausfällt, wird der Mittelwert von 6,5 angenommen. Für die Szenarien 4 und 5 bzw. 9 und 10 wird das Vermarkungsmaterial Beton im trockenen Zustand mit dem Mittelwert 5,5 (Spannweite: 4–7) und in feuchtem Zustand mit dem Mittelwert von 11 (Spannweite: 8–14) für die relative Dielektrizitätszahl unterschieden. Anders als bei den Szenarien 1 bis 10 besitzt der Grenzstein im 11. Szenario eine Glasflasche als Untervermarkung. Die Flasche

ist luftgefüllt, deshalb ergibt sich mit der Annahme Luft statt Glas als Medium eine relative Dielektrizitätszahl von 1.

Die Untersuchung von Untervermarkungen stellt eine interessante Erweiterung der bodenradargestützten Suche von Grenzsteinen dar, da luftgefüllte Objekte in ausreichender Größe unter Umständen leichter detektierbar sein können. Hierzu stehen jedoch noch weitere detailliertere Untersuchungen aus.

Tiefenlage der Vermarkung

Die Oberkante der Grenzsteine wird in einer Tiefe von ca. 5 bis 25 cm angenommen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es sich um eine übliche Überdeckung durch Humus bzw. tiefstehende Vermarkungen im Bereich von 0,1–0,2 m unter der Geländeoberfläche handelt, wie man sie häufig findet. Wenn man davon ausgeht, dass die Glasflasche im Szenarium 11 einen Durchmesser von ca. 7 cm und eine Höhe von 30 cm besitzt und der Abstand zwischen der Vermarkung und Untervermarkung ca. 10 cm beträgt, ergibt sich für die Oberkante der Untervermarkung eine Tiefe von 70 cm. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass die Vermarkung lotrecht in den Boden eingebracht wurde. Dennoch kann

es über einen längeren Zeitraum durch äußere Einflüsse zu Lageveränderungen und Neigungen kommen. Deshalb wird unter anderem der Fall betrachtet, dass ein Grenzstein einer Neigung von etwa 10° unterliegen kann.

Antennenfrequenz

Es ergeben sich deutliche qualitative Unterschiede bei der Wahl von unterschiedlichen Antennenfrequenzen. Die Wahl des zu verwendenden Frequenzbereichs ist ein Kompromiss zwischen der gewünschten Auflösung, der zu erzielenden Eindringtiefe und des frequenzabhängigen Effekts von Bodeninhomogenitäten. Im Zuge dieses Projektes fanden Testmessungen mit verschiedenen Antennenfrequenzen statt. Die Variation der Antennenfrequenz von 400 MHz bis 2,5 GHz ergab anfangs noch sehr heterogene Ergebnisse. Zum Teil konnten Reflexionen der Grenzsteinoberkante zugeordnet werden, was jedoch generell ohne Vorwissen nicht möglich gewesen wäre, da es zu viele weitere Reflexionen in ähnlicher Stärke gab. Die Grenzsteinunterkante bzw. die Lage der Untervermarkung blieb unklar. Je nach Messsituation waren selbst

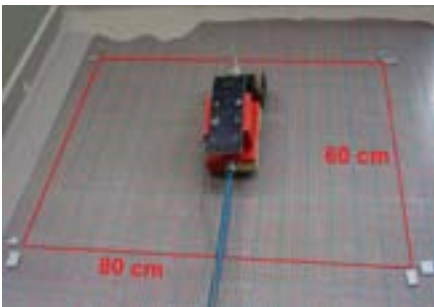


Abb. 5: Plexiglasscheibe mit rot eingerahmter Messfläche; hier Messung mit 1,5 GHz-GSSI-Antenne, Quelle: BAM

Grenzsteinober- und -unterkante teilweise nicht eindeutig trennbar von der Umgebung bzw. überhaupt nicht detektierbar. Die besten Ergebnisse wurden im Laufe der Versuche mit Frequenzen um ca. 1,5 GHz erreicht. Deshalb wurde für vergleichbare Simulationsszenarien schließlich eine Frequenz von 1,5 bzw. 1,6 GHz gewählt.

Synthetische Testfelder – Erzeugung von Radardaten unter ausschließlich künstlichen Bedingungen

Im zweiten Schritt wurden Simulationen durch Experimente an Modellen durchgeführt, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen. Bei der Nachstellung der realen Situation werden grobe Vereinfachungen der Realität getroffen. Solch ein Simulationsmodell hat also nur bestimmte Aspekte mit der realen Situation gemeinsam, welche maßgeblich von der Fragestellung abhängig sind, die mit der Simulation beantwortet werden sollen.

Testmessungen Sandkiste BAM, Halle 21 am 03.07.2009

In einer Versuchshalle der BAM fanden Radarreflexionsmessungen bei konstanter Raumtemperatur von 25°C in einer für diese Testmessungen angefertigten Kiste statt, die mit homogenem Sand aufgefüllt wurde. Der Boden fällt somit als Störparameter weitestgehend heraus, da die Bodeneigenschaften in der gesamten Kiste als konstant angenommen werden können. Auch spielt die Witterung keine Rolle, so dass auch der Bodenwassergehalt als homogen und konstant angenommen werden konnte.

In diese Sandkiste wurde ein Grenzstein aus Granit in liegender Position quer zur Messrichtung mit einer Sandüberdeckung von etwa 11 cm eingebracht.

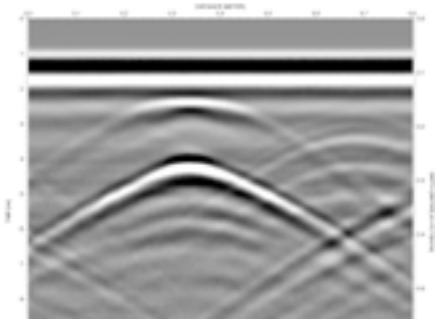


Abb. 6: Radargramm: Testmessungen Sandkiste BAM, Halle 21 am 03.07.2009, gemessen mit 1,5 GHz-GSSI-Antenne, Quelle: BAM

Nach Einbringen des Grenzsteines wurde die Oberfläche plan abgezogen und mit einer ca. 2 mm dicken Plexiglas-scheibe bedeckt. Diese diente dazu, dass sich die Sandoberfläche beim Schieben der Radarantenne über die Oberfläche nicht verändert. Auf dieser Plexiglas-scheibe wurde ein Messraster von 1cm (rote Striche) und 5 cm (blaue Striche) aufgebracht. Die Messfläche (Abb. 5) betrug 80 cm (horizontal) und 60 cm (vertikal), wobei die Erstellung der senk-

rechten Messprofile mit einer 1,5 GHz GSSI-Antenne in einem Abstand von 2 cm erfolgte (siehe Radargramm in Abb. 6). Eine zweite Messung wurde mit einer 900 MHz-GSSI-Antenne durchgeführt, wobei die Messfläche diesmal nur 60 cm (horizontal) und 45 cm (vertikal) betrug. Hier wurden die Messprofile in einem Abstand von 5 cm aufgenommen.

Künstlich angelegte Testfelder / Testmessungen Horstwalde

In vielen Fällen reichen die Ergebnisse aus Computersimulationen oder Modellversuchen nicht aus und es ist notwendig, diese Ergebnisse mit Daten aus realitätsnahen Tests abzugleichen. Hierfür wurden spezielle Versuchsanlagen in Form eines Testfeldes mit vergrabenen Grenzsteinen auf dem „Testgelände Technische Sicherheit“ der BAM in Baruth/Mark in der Nähe von Horstwalde geschaffen. Ziel war es, einfache nichtmetallische Objekte aus Georadarmessungen zu erkennen. Dazu wurden verschiedene realistische Szenen aus dem Bereich der Katastervermessung nachgestellt.



Abb. 7: Georadarmessung Bredow, Quelle: BAM

Reale Testmessungen in Bredow

Neben den genannten simulierten Situationen und Versuchsanlagen wurden Untersuchungen an realen Situationen durchgeführt. Um im Vorfeld die Chancen einer erfolgreichen Detektion von Grenzvermarkungen besser einschätzen zu können, sollen die Ergebnisse aus den Simulationen und Messungen auf den Test- und Referenzanlagen dem Anwender in einer einfachen Datenbank in Form eines Kataloges zur Verfügung gestellt werden, um durch dieses Vorwissen reale Messdaten interpretierbar zu machen. Zukünftige Messungen sollen diese Datenbank erweitern.

Testmessungen unter realen Bedingungen zur Detektion von Grenzsteinen fanden z. B. an einem Feldrand in der Nähe von Bredow statt (Abb. 7).

Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse dieses Projektes zeigen, dass grundsätzlich Modell, Verfahren und Messsystem eine Erkennung von Grenzsteinen ermöglichen. Der Erfolg hängt jedoch maßgeblich von Faktoren wie Bodenfeuchte, Objektgröße, Maß der Inhomogenität des Bodens bzw. der Oberflächenbeschaffenheit des Geländes ab. Dabei gilt der Frequenzbereich der Bodenradarantenne um 1,5 GHz als besonders geeignet. Im Falle der Verwendung einer einzelnen Antenne kann jedoch eine zuverlässige und wirtschaftliche Verwendung des Messsystems nicht garantiert werden. Dabei sind die Beschränkung des verlässlichen Suchbereichs von +/- 5 – 7 cm um die Radarspur sowie auch daraus folgend die Schwierigkeiten bei der Generierung von Pseudo-3D-Datensätzen aus senkrecht zueinander stehenden 2D-Radargrammen im Hinblick auf die

unausweichlichen Geländeunebenheiten zuallererst zu überwinden.

Die Ergebnisse des Projektes lassen jedoch den Schluss zu, dass die entstandenen Problemstellungen grundsätzlich lösbar sein sollten. Im Wesentlichen handelt es sich um folgende Fragestellungen, welche für eine „Alltagstauglichkeit“ gelöst werden müssen:

- Größere Abdeckung des Absuchbereichs (Abtastbreite)
- Steigerung der Qualität der Radardaten zur Merkmalsextraktion (Erzeugung echter 3D-Daten zur Messzeit)
- Präzisere Lokalisierung der Bodenradardaten (Neigungssystemkorrekturen)
- Optimierung der automatischen Merkmalsextraktion

Die ersten beiden Punkte könnten mit Gridmessungen, also mehrfach angeordneten und gleichzeitig messenden Radarsensoren, gelöst werden. Hier setzen nun die weiteren Bemühungen an, welche federführend vom Ingenieur- und Vermessungsbüro Krause unternommen werden, um die Idee einer zerstörungsfreien und effektiven Suche - nicht nur nach Grenzsteinen – weiter zu vervollkommen und ein solches Messsystem zukünftig wirtschaftlich effektiv einsetzbar zu machen.

Literatur

BAM: Protokollabschrift von der Exkursion auf dem BAM-Testgelände in Horstwalde, unveröffentlicht, 30.03.2009

BAM; Krause, Uwe: Dokumentation der Radarmessungen mit Tachymeter in Bredow, unveröffentlicht, August 2009

BAM; Wöstmann, Jens: Dokumentation der Radarmessungen (ProEx) mit

Tachymeter und Neigungssensor in Bredow, unveröffentlicht, 12.11.2009

Bock, Fabian: Seminararbeit „Optimierung und Analyse von Georadarmessdaten zur Erkennung einfacher definierter Objekte im Untergrund“, unveröffentlicht, Fakultät 4 an der TU Berlin, 17.08.2009

Genz, Torsten; Krause, Uwe: „iRadar – Suchen war gestern“, VDV 2/2010, S. 200

Genz, Torsten; Krause, Uwe; Niemeyer, Katrin: „iRadar – Ein Ansatz zum Verbinden geophysikalischer und geodätischer Methoden, Entwicklungsforum Geodäsie und Geoinformationstechnik, Shaker Verlag, 2010

Goldschmidt, S.: „Radarmessungen mit der 900 MHz und 1500 MHz Antenne im Sandkasten in Halle 21 zur Sondierung eines vergrabenen Granitgrensteins“, unveröffentlicht, 06.08.2009

Niemeyer, Katrin: Diplomarbeit „Ansätze zur nicht destruktiven Erfassung von Grenzmarkierungen im nahen Untergrund aus Bodenradararbeiten“, unveröffentlicht, Fakultät 4 an der TU Berlin, 2010

Trela, Christiane: „Radarmessungen im Innenhof vom 02.06.2009 – Sandüberdeckung“, unveröffentlicht, 06.08.2009

Trela, Christiane: VIII.2 Fachgruppenseminar (BAM), unveröffentlicht, 14.01.2009

Wöstmann, Jens; Dr. Martin, Tina: BAM-Fachgruppe VIII.2, Zerstörungsfreie

Schadensdiagnose und Umweltmessverfahren, „Radar-Messung an großer Sand-Box in Halle 21 mit unterschiedlichen Antennen und bei verschiedenen Feuchtestufen“, unveröffentlicht, Januar 2010

Verm.-Ass. Torsten Genz
ÖbVermIng Uwe Krause
Dipl.-Ing. Katrin Niemeyer
Ingenieur- und
Vermessungsbüro Uwe Krause
kontakt@vermessung-krause.de
www.terra-science.de

